

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-072723

(43)Date of publication of application : 16.03.1999

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

G01P 15/11

(21)Application number : 09-247599

(71)Applicant : OMRON CORP

(22)Date of filing : 29.08.1997

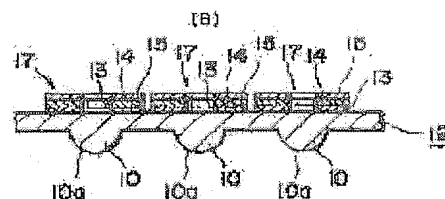
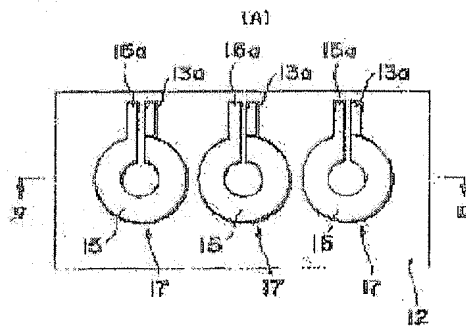
(72)Inventor : KAWABATA TATSUHISA

(54) MICROOPTICAL ELEMENT, FUNCTION ELEMENT UNIT AND THEIR PRODUCTION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide microoptical elements which may be adjusted in focus.

SOLUTION: An optical substrate 12 is formed of polyimide. Plural convex lenses 10 having convex surfaces 10a are two-dimensionally arrayed and formed on one surface of this substrate 12. The rear surface of the optical substrate 12 is a flat surface and on which PZT actuators 17 comprising lower layer metallic films 13, PZT thin films 14 and upper layer metallic films 15 are formed at the points corresponding to the circumferences of the convex surfaces 10 of the convex lenses 10. When voltage is impressed between the lower layer metallic films 13 and the upper layer metallic films 15, distortion arises in the PZT thin films 14. The radius of curvature of the convex lenses 10 is changed by this distortion, by which the focal length or depth of focus of the convex lenses 10 is changed.



(19) 日本国特許庁 (J.P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-72723

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月16日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 26/08

G 0 2 B 26/08

C

G 0 1 P 15/11

G 0 1 P 15/11

審査請求 未請求 請求項の数 6 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平9-247599

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月29日

(71) 出願人 000002945

オムロン株式会社

京都府京都市右京区花園土堂町10番地

(72) 発明者 川畑 達央

京都府京都市右京区花園土堂町10番地 オムロン株式会社内

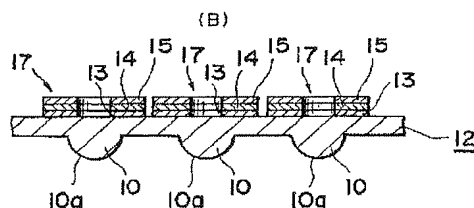
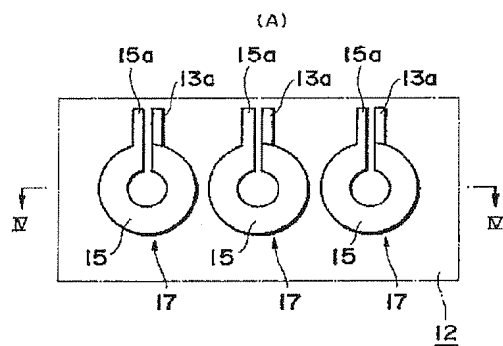
(74) 代理人 弁理士 牛久 健司 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 マイクロ光学素子、機能素子ユニット、およびこれらの製造方法

(57) 【要約】

【目的】 焦点調節可能なマイクロ光学素子を提供する。

【構成】 光学基板12はポリイミドによって形成されている。基板12の一面には複数の凸表面10aをもつ凸レンズ10が2次元的に配列されて形成されている。光学基板12の裏面は平坦面であり、この平坦面上において凸レンズ10の凸表面10aの周囲に相当する箇所に下層金属膜13、P Z T薄膜14および上層金属膜15によって構成されたP Z Tアクチュエータ17が形成されている。下層金属膜13と上層金属膜15との間に電圧を加えると、P Z T薄膜14に歪みが生じる。この歪みによって凸レンズ10の曲率半径が変化し、凸レンズ10の焦点距離または焦点深度が変化する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学的機能面を持つ光学要素と応力発生部材とを備え、上記応力発生部材が上記光学要素の周囲に形成されている、マイクロ光学素子。

【請求項2】 作製すべき光学要素の光学機能面に相当する凹部を基板上に形成し、上記凹部を埋めるように上記基板上にポリイミドを形成し、上記ポリイミドの少なくとも上記凹部を埋めた部分を基板から分離する、光学要素の製造方法。

【請求項3】 変形させるべき対象物が変形可能に支持された基板に、上記対象物に近接して、弾性変形可能な部材により支持された可動電極を設け、上記可動電極と対向させて固定電極を設け、上記可動電極と上記固定電極との間に電圧を印加して、これにより変位する上記可動電極によって上記対象物を変形させる、微小立体構造体の作成方法。

【請求項4】 機能素子を変形可能な脚部により基板に設け、脚部に近接して、弾性変形可能な部材により支持された可動電極を設け、上記可動電極と対向させて固定電極を設け、上記可動電極と上記固定電極との間に電圧を印加して、これにより変位する上記可動電極によって上記脚部を変形させる、機能素子ユニットの作成方法。

【請求項5】 上記脚部を熱硬化性材料で形成し、上記脚部を変形した後に上記脚部を加熱して硬化させる、請求項4に記載の機能素子ユニットの作成方法。

【請求項6】 機能素子を変形可能な脚部により基板に支持され、上記脚部は変形させられており、上記脚部を変形させるための可動電極が上記脚部に近接して設けられている、機能素子ユニット。

【発明の詳細な説明】

【0001】この発明はマイクロ光学素子、機能素子ユニット、ならびにこれらの製造方法に関する。

【0002】

【従来技術とその問題点】多くの光学機器は、焦点合わせを行う焦点調節機構をもつ。焦点調節機構は、レンズを移動自在に支持する枠体を含み、レンズを枠体に沿って移動させることにより焦点合わせが行なわれる。複数枚のレンズが枠体に組み込まれて構成される焦点調節機構もある。枠体および、場合によっては複数枚のレンズが必要なため、焦点調節機構を含む光学装置には必然的にある程度の大きさが要求され小型化が難しい。

【0003】近年、マイクロマシニング技術を用いて、電子機器の小型化が図られている。その方法の一つとして、電子素子等の立体配置による小型化がある。これは、基板上に形成した光学素子、電子素子、電子部品等を、マイクロ・マン્યピューレータを用いて基板上に3次元的に形成するものである。2次元的に電子素子等が配置された電子機器に比べて、3次元的に配置されたものでは小型化の一層の促進を図ることができる。

【0004】しかしながら、マイクロ・マン્યピューレー

タの操作は非常に難しく、時間をかけて慎重に行う必要がある。さらに複数の電子素子等を同時に3次元構造とすることができないので、量産性に欠けるという欠点がある。

【0005】電子機器の小型化の方法として、電子素子等を形成した複数の半導体ウエハを接合して集積化する方法もあるが、接合温度が高いため（約1000度）、高温に耐えられない電子素子を組み込んだ電子機器には、この方法を採用することができない。

【0006】

【発明の開示】この発明は、焦点調整機構をもつマイクロ光学素子を提供するものである。

【0007】この発明はまた、機能素子を簡単に3次元的に組立てることのできる方法を提供するものである。

【0008】この発明によるマイクロ光学素子は、光学的機能面を持つ光学要素と応力発生部材とを備え、上記応力発生部材が上記光学要素の周囲に形成されているものである。

【0009】上記光学要素の一例としてレンズがある。レンズは球面レンズ、非球面レンズ、凸レンズ、凹レンズ等を含み、それぞれ球面状、非球面状、凸状、凹状の光学的機能面をもつ。上記光学要素の他の例としては、偏光素子、偏光素子、反射体等がある。

【0010】上記応力発生部材は、圧電材料、電歪材料または磁歪材料によって形成される。

【0011】上記応力発生部材は、上記光学要素の光学的機能面の周囲、またはその反対側において、上記光学的機能面の周囲に対応する部分に形成することができる。

【0012】好ましくは、上記光学的機能面の周囲の一部が、支持部によって支持される。支持部を変形することによって、光学要素の配置を変えることができる。

【0013】上記光学要素は、一実施態様において、作製すべき光学要素の光学機能面に相当する凹部を基板上に形成し、この凹部を埋めるように基板上にポリイミドを形成し、上記ポリイミドの少なくとも凹部を埋めた部分を基板から分離することによって製造される。

【0014】凹部を有する基板上に犠牲層を形成し、この犠牲層上に上記ポリイミド膜を形成してもよい。犠牲層には、たとえばSiO₂やAl等の金属材料が用いられる。犠牲層のみをエッチングによって取り除くことにより、光学要素の形成されたポリイミドを、基板から容易に剥離することができる。

【0015】上記応力発生部材が圧電材料の場合、電圧の印加によって応力発生部材に歪みが生じる。この歪みによって光学素子の光学的機能面の形状が変化する。電歪材料、磁歪材料の場合にはそれぞれ電界、磁界の働きにより同じように光学的機能面の形状が変化する。このようにして、光学素子（レンズ）を移動させることなく、または複数の光学素子を用いることなく、焦点距離

または焦点深度を変化させることができ、小型化が可能となる。焦点調節のために組レンズをもつ光学機器においては、組レンズを構成するレンズの数を減少させることができ、光学機器の一層の小型化が図られる。

【0016】この発明による微小立体構造体の作成方法は、変形させるべき対象物が変形可能に支持された基板に、上記対象物に近接して、弾性変形可能な部材により支持された可動電極を設け、上記可動電極と対向させて固定電極を設け、上記可動電極と上記固定電極との間に電圧を印加して、これにより変位する上記可動電極によ

って上記対象物を変形させるものである。
【0017】この発明によると、弾性変形可能な部材により支持された可動電極と、可動電極に対向して設けられた固定電極との間に電圧を印加することによって起こる可動電極の変位を上記対象物の変形に利用する。対象物を挟んで可動電極と固定電極とを設けてもよい。この場合には可動電極が対象物を押すことになる。対象物と固定電極とで可動電極を挟む配置とすることもできる。この場合には可動電極が対象物を引張ることになるの

で、可動電極と対象物とを何らかの手段によって結合させておく。
【0018】好ましくは対象物および可動電極が設けられる基板とは別の基板に固定電極を設け、これらの両基板を接合した状態で両電極間に電圧を印加する。対象物と可動電極が設けられる基板は好ましくは半導体基板である。

【0019】この発明によると、2つの電極の間に電圧を印加するだけで対象物を変形させることができるので、その操作が比較的簡単である。印加する電圧を制御することにより対象物の変形の度合いを任意に設定することができ、変形された対象物は必要ならば変形した状態に保持するようにすることもできる。

【0020】この発明による機能素子ユニットの作成方法は、上述した立体構造体の作成方法を利用したものであり、機能素子を変形可能な脚部により基板に設け、脚部に近接して、弾性変形可能な部材により支持された可動電極を設け、上記可動電極と対向させて固定電極を設け、上記可動電極と上記固定電極との間に電圧を印加して、これにより変位する上記可動電極によって上記対象物を変形させるものである。

【0021】機能素子は、発光素子、受光素子、レンズ等の光学素子、好ましくはマイクロ光学素子、マイクロ電子素子、その他の光学機器、電子機器に用いられる素子を含む。

【0022】この発明によると可動電極と固定電極との間に電圧を印加するだけで機能素子を任意の姿勢にもた

ないので、高温処理を行う必要もない。この発明により製造される機能素子ユニットでは、機能素子が基板の上方、下方または内部（穴がある場合）に立体的に配置されているので、ユニット全体の小型化を図ることができる。

【0023】すなわち、この発明による機能素子ユニットは、機能素子を変形可能な脚部により基板に支持され、脚部は変形させられており、脚部を変形させるための可動電極が上記脚部に近接して設けられているものである。

【0024】好ましくは、上記脚部を熱硬化性材料で形成し、上記脚部を変形した後に上記脚部を加熱して硬化させる。

【0025】脚部を変形した状態で硬化させることにより、機能素子の変位した姿勢を保持することができる。上記脚部には好ましくはポリシリコンが用いられる。ポリシリコンは通電されて加熱されると硬化する性質をもつ。

【0026】

【実施例】

(1) マイクロ光学素子

図1は、ポリイミドを用いて作製されたレンズ・アレイを持つ光学基板の一部を示す断面図である。

【0027】光学基板12は板状のポリイミド基板であり、その一面に複数の凸レンズ10が形成され2次元的に配列されている。凸レンズ10の凸表面10aは滑らかな曲面である。これらの複数の凸レンズ10によりレンズ・アレイが構成される。光学基板12をたとえばダイシングにより分割することによって、単体の凸レンズ10を形成することができる。凸レンズ10は発散するもしくはコリメートされた光を集光する、または発散する光をコリメートするために用いられる。

【0028】図2は図1に示す光学基板12の作製工程を示している。

【0029】基板20を用意する(図2(A))。基板20の材料には、シリコンが用いられる。シリコンはマイクロマシニング技術によって微細加工が可能である。

【0030】シリコン基板20の一面に、形成すべき凸レンズ10の凸表面10aの形状に対応する形状をもつ凹部20aを、等方性エッチングによって形成する(図2(B))。シリコン基板20の上には2次元的に配列された複数の凹部20aが形成される。シリコン基板20上に複数の凹部20aを形成することによって、一度に複数の凸レンズ10を作製することができる。

【0031】シリコン基板20の上にSiO₂犠牲層11を熱酸化または堆積によって形成する(図2(C))。SiO₂犠牲層11の表面にも凹部20aに相当する位置に滑らかな曲面をもつ凹部11aが形成される。SiO₂犠牲層11は、作製する光学基板12のシリコン基板20からの分離を容易にするために用いられる。犠牲層としてAl等の

金属を用いてもよい。

【0032】SiO₂ 犠牲層11の上から凹部11aを埋めるようにポリイミド12を塗布し、硬化させる(図2(D))。

【0033】ポリイミド12の硬化後、エッチングによりSiO₂ 犠牲層11を除去して、光学基板12をシリコン基板20から分離する。凹部11aに埋っていた部分が凸レンズ10となり、複数の凸レンズ10が2次的に配列された光学基板12が完成する(図1)。

【0034】図2(B)において、凹部20aを形成するにあたって、シリコン基板20を削り取る深さ、大きさ等に応じて、作製するレンズの性能(曲率半径、焦点距離、焦点深度等)を異ならせることができる。

【0035】図3はポリイミドを用いて作製された他の構造の光学基板の一部を示す断面図である。

【0036】光学基板12Aにおいて、凸レンズ10Aの凸表面10aに対応してその反対側に凹表面10bが滑らかな曲面で形成されている。

【0037】凸レンズ10Aの凹表面10bはポリイミドが硬化する前に、凹表面10bに相当する凸状の型面をもつスタンパを押しつける、または硬化後のポリイミドをエッチングによって削り取ることによって形成される。

【0038】凸レンズ10および凸レンズ10Aの凸表面10aの形状、ならびに凸レンズ10Aの凹表面10bを、他の形状としてもよいのはいうまでもない。

【0039】図4はPZT(ジルコン酸チタン酸鉛)アクチュエータを備えた光学基板の構造を示すものであり、(A)はその平面図、(B)は(A)のIV-IV線にそって断面図である。図4(B)において、作図の便宜上および分かりやすくするために、PZTアクチュエータの各構成部材の厚さが実際よりも強調して描かれている。このことは、後述する他の断面図においても同様である。図1に示すものと同じものには同一符号を付し、重複説明を省略する。

【0040】PZTアクチュエータ17は光学基板12の平坦面(凸表面10aの形成された面と反対側の面)において、下層金属膜13、PZT(ジルコン酸チタン酸鉛)薄膜14、および上層金属膜15がこの順番に重ねられて形成されている。PZTアクチュエータ17は環状に形成された環状部分と、直線状に形成された2本の直線状部分をもつ。環状部分は光学基板12の平坦面において凸レンズ10の凸表面10aの周縁に対応する部分に形成されている。環状部分の一部が切離され、その両端部から直線状部分が外方に延びている。

【0041】PZTアクチュエータ17の2本の直線状部分は、PZTアクチュエータ17の駆動端子(外部接続端子)として用いられる。2本の直線状部分のうち一方は下層金属膜13、PZT薄膜14、および上層金属膜15(直線状部分の上層金属膜15を端子15aとして示す)のすべてが形成されている。他方の直線状部分には下層金

属膜13(直線状部分の下層金属膜13を端子13aとして示す)のみが形成されている。これらの端子13a、15aを通して、下層金属膜13と上層金属膜15との間に電圧を加えると、これらの金属膜13、15間に挟まれたPZT薄膜14の内部に歪み(応力)が発生する。これによって、凸レンズ10が歪み、その曲率半径が変化する。凸レンズ10が歪みその曲率半径が変化すると、凸レンズ10の焦点距離または焦点深度が変化する。

【0042】PZT薄膜14に発生する歪みを制御する(PZTアクチュエータ17に加える電圧を制御する)ことによって、複数のレンズを用いることなく、またはレンズ自体を移動させることなく、凸レンズ10の焦点距離または焦点深度を調整することができる。焦点調節のために組レンズをもつ光学機器において、組レンズを構成するレンズの数を減少させることができるので、光学機器の小型化が図られる。またレンズの性能(曲率半径、焦点距離、焦点深度等)が、ポリイミドの経時変化によって、または実装時の加熱等によって設計した値と異なる値になった場合でも、レンズを光学機器に実装した後にその微調整を図ることができる。このため、光学機器の実際の使用において、設計したものと同一所望のレンズ性能を得ることができる。図4ではレンズ・アレイが示されているが、上記のことは単体のレンズについてもあてはまるのはいうまでもない。

【0043】図5は、図4に示すPZTアクチュエータをもつ凸レンズに支持部を取付けた構造を示すものであり、(A)はその平面図、(B)は(A)のV-V線にそって断面図である。これらの図において、単体のレンズが3個配列された状態が示されているが、これは、その作製工程の説明において3個のレンズを同時に作製する様子を示したことに依る。図6および図7は、図5に示す支持部を取付けた凸レンズの作製工程を示すものである。図6において左側に示す(A1)、(B1)、(C1)および(D1)は光学基板の平面図であり、右側に示す(A2)、(B2)、(C2)および(D2)は、対応する平面図の断面図である。同じように、図7において、左側に示す(A1)および(B1)は光学基板の平面図であり、右側に示す(A2)および(B2)は、対応する平面図の断面図である。

【0044】図2(A)~(C)に示す工程と同じように、シリコン基板20上に作製すべき凸レンズの凸表面に相当する形状の凹部20aを形成し、その上に凹部11aをもつSiO₂ 犠牲層11をつくる(図6(A1)、(A2))。続いて、SiO₂ 犠牲層11の凹部11aを埋めるようにポリシリコン16Aを堆積する(図6(B1)、(B2))。その後、一部が欠如した環状部分と環状部分の両端から外方にのびる直線状部分とからなるポリシリコンの支持部16を残し、その他の領域のポリシリコン16Aをすべて除去する(図6(C1)、(C2))。支持部16の環状部分は凹部20a、11aの周縁に相当する位置にあり、次に形成すべき凸レンズ10を支持するものとなる。

【0045】凹部11aを埋めかつSiO₂犠牲層11および支持部16を覆うようにポリイミド12を塗布し、硬化させる(図6(D1), (D2))。ポリイミド12の硬化後、凹部11a内、支持部16の環状部分の内部およびその上面(外周縁部を除く)、ならびに支持部16の直線状部分の上のポリイミドを残して他の部分のすべてのポリイミド12を除去する(図7(A1), (A2))。残ったポリイミドが凸レンズ10となる

【0046】凸レンズ10の平坦面の上に下層金属膜13と、PZT薄膜14と、上層金属膜15からなるPZTアクチュエータ17を形成する(図7(B1), (B2))。

【0047】SiO₂犠牲層11をエッチングによって取り除く。SiO₂犠牲層11の凹部11aに埋込まれたポリイミドの部分をレンズ部分として持ち、その周囲が支持部16の環状部分によって挟まれた凸レンズ10が完成する。この支持部16の上にポリイミドの層を介してPZTアクチュエータ17が設けられた形となる(図5)。

【0048】SiO₂犠牲層11を除去しなければ複数の凸レンズ10はシリコン基板20上に配列された状態に保たれ、レンズ・アレイを構成する。この構成が図8に示されている。シリコン基板20は凸レンズ10の凸表面10aに対応する部分のみが、その下面からエッチングによって削り取られている。エッチングによって削り取られた穴を符号20Aで示す。この穴20Aを光が通ることになる。シリコン基板20およびSiO₂犠牲層11によって凸レンズ10の凸表面10aが保護されるとともに、運搬等における取扱が容易になる。

【0049】(2) 微小立体構造体の作成方法

上述したマイクロ光学素子を利用したマイクロ光学ユニット(マイクロ光学立体構造体)の説明に先だて、微小立体構造体の作成方法について説明する。

【0050】図9は微小立体構造体と、微小立体構造体における機能素子を起立させる工程に用いられる補助構造体とを示す斜視図である。図10は図9のX-X線にそっ断断面図である。微小立体構造体とは、ここでは、レンズ、発光素子、受光素子等で代表される何らかの物理的機能をもつ機能素子が脚部により基板上に設けられたものを指す。機能素子および脚部は最初は寝た姿勢にあるが補助構造体を用いて次に説明するように起立させられる。この明細書においては、機能素子が寝た姿勢にあるもの、および起立した姿勢にあるものの両方を、便宜上、微小立体構造体というものとする。

【0051】図9および図10に示す微小立体構造体30においては機能素子44および脚部43は寝た姿勢にある。微小立体構造体30は導電性のあるシリコン基板32を含む。このシリコン基板32の中央部には上下方向に穴32Aが形成されている。この穴32Aの周囲のシリコン基板32の部分をフレーム部33という。穴32Aの上部中央には可動電極34が設けられ、この可動電極34はその一側から両方向にのびるバー35によってフレーム部33の上部に一体的に

結合されている。これらのフレーム部33、可動電極34およびバー35はシリコン基板32を高精度にエッチングすることによって形成することができる。

【0052】バー35はかなり細く形成されている。バー35によってフレーム部33の上部に支持された可動電極34も薄くつくられている。細く形成されたバー35は弾性変形(後述するように、ねじれ)が可能である。

【0053】シリコン基板32のフレーム部33の上には、2つの概略正方形の絶縁膜41が間隔をあけて形成されており、この2つ絶縁膜41の上に絶縁膜41と同じ形の外部接続端子42がそれぞれ形成されている。外部接続端子42と脚部43とは一体的に形成され、脚部43は外部接続端子42から可動電極34の先端部分の上方まで張り出し、そこで互いに連結されている。脚部43と可動電極34との間にはわずかな間隙がある。外部接続端子42と脚部43はポリシリコン(電気的抵抗体)によりつくられ、後述するように外部接続端子42を通して脚部43に電流が流される。機能素子44は可動電極34のほぼ真上の位置において脚部43の先端部分に取付けられている。

【0054】補助構造体31はガラス等の絶縁性材料によって形成され、シリコン基板32に対応する大きさをもつ。補助構造体31のシリコン基板32に対向する側の四隅には、四角柱状の支持部37が形成されている。補助構造体31の支持部37を除く部分は薄くつくられている。

【0055】補助構造体31の薄くつくられた部分において、可動電極34に対向する位置に、可動電極34とほぼ同じ大きさ、形状をもつ固定電極46が設けられている。固定電極46の一部から端子46aが補助構造体31の端までのびている。端子46aは、次に説明するように、固定電極46に電圧を印加するために用いられる。

【0056】図11(A), (B)および(C)は、微小立体構造体における機能素子を起立させる工程を示している。

【0057】補助構造体31の支持部37の下面を、シリコン基板32のフレーム部33に重ね合わせて固定した後、端子46aとシリコン基板32を通して固定電極46と可動電極34との間に電圧を加える。すると、固定電極46と可動電極34との間には静電気力(静電引力)が発生し、可動電極34の先端部分(バー35によって支持されている一側とは反対側)が固定電極46に引き寄せられる。可動電極34は弾性変形(ねじれ)が可能なバー35にその一側が支持されているので、可動電極34の先端部分は起立する(図11(A))。

【0058】脚部43の先端部分が可動電極34の上方に位置しているので、可動電極34の先端部分が固定電極46に引き寄せられると脚部43は上方に押し上げられる。弾力性に富むポリシリコンによって形成された脚部43は、滑らかにしなりながらそり上る。脚部43の先端に設けられた機能素子44は、脚部43のそり上りによって起立する(図11(B))。

【0059】固定電極46と可動電極34との間に電圧を加

えた状態で、フレーム部33上の2つの外部接続端子42から脚部43に電流を流す。脚部43を構成するポリシリコンは通電によって加熱されて硬化する。脚部43が硬化することにより機能素子44は起立した姿勢で固定される。固定電極46と可動電極34への電圧の印加を止めると、可動電極34は元の位置に戻る(図11(C))。

【0060】図12は他の構造の微小立体構造体と、補助構造体とを示す斜視図である。図13は図12のXIII-XIII線にそって断面図である。この微小立体構造体30Aは、図10および図11に示す微小立体構造体30と比較すると、可動電極34と脚部43との間に穴47Aがつけられた接着層47が設けられている点、可動電極34に穴34Aがつけられている点異なる。その他の構造は、図10および図11に示すものと同じである。また、補助構造体31は微小立体構造体30Aの下方に配置される。

【0061】微小立体構造体30Aにおいて、可動電極34と脚部43との間に設けられた接着層47により、脚部43が可動電極34に接着されている。また、可動電極34に設けられた穴34Aは脚部43の2本の脚に挟まれた位置にある。接着層47の穴47Aは、穴34Aに対応する位置に設けられている。

【0062】補助構造体31を、その固定電極46が穴32Aの下方のほぼ中央にくるように、シリコン基板32の下方に配置し、補助構造体31の支持部37の下面を、シリコン基板32のフレーム部33の下面に重ね合わせて固定する。端子46aとシリコン基板32を通して固定電極46と可動電極34との間に電圧を加える。固定電極46と可動電極34との間に働く静電気力(静電引力)により、可動電極34は下方に向う。脚部43は接着層47によって可動電極34に接着されているので、脚部43も下方に折れ曲る。脚部43に取付けられた機能素子44は倒立した状態でシリコン基板32の穴32A内に入る。

【0063】固定電極46と可動電極34との間に電圧を加えた状態で、脚部43に電流を流し、脚部43を構成するポリシリコンを硬化させる。最後に固定電極46と可動電極34への電圧の印加を止め、可動電極34を元の位置に戻す。脚部43および可動部34は穴32Aに格納された姿勢を保つ。

【0064】詳しくは後に述べるが、機能素子44が発光素子の場合、孔47A、31Aおよび脚部43の間を通して光が射出される。機能素子44が受光素子の場合、孔47A、31Aおよび脚部43の間を通った光を受光することができる。

【0065】(3) マイクロ光学ユニット

上述した微小立体構造体の作成方法を利用して作成されるマイクロ光学ユニットについて説明する。

【0066】図14はP Z Tアクチュエータが形成された凸レンズが脚部により基板上に設けられたマイクロ光学ユニット(マイクロ光学立体構造体)の断面図である。図14に示すマイクロ光学ユニット60の構造は、その作製

工程を説明することによって明らかになるので、図15から図20を参照してその作製工程を説明する。図15から図17において、左側に示す(A1)、(B1)および(C1)はマイクロ光学ユニットの作製工程の平面図である。右側に示す(A2)、(B2)および(C2)は、対応する平面図の断面図である。同じように、図18において左側に示す(A1)はマイクロ光学ユニットの作製工程の平面図であり、右側に示す(A2)は、(A1)のXVIII-XVIII線に沿う断面図である。

【0067】シリコン基板32を用意し、その上面の2箇所にエッチングにより凹部32a、32bを形成する。凹部32aはシリコン基板32の上面に可動電極34になるべき部分を残すように、また凹部32aと32bとでバー35になるべき部分を残すように形成される(図15(A1)、(B1))。

【0068】シリコン基板32の上面の中央部に、凹部32aおよび凹部32bを完全に覆うように、SiO₂犠牲層51を熱酸化または堆積によって形成する。凹部32aおよび凹部32bの周辺部はSiO₂犠牲層によって埋まり、SiO₂犠牲層51の表面には凹部32aの中央部に相当する位置に凹部51aが、凹部32bの中央部に相当する位置に凹部51bがそれぞれ残る(図15(B1)、(B2))。

【0069】さらにSiO₂犠牲層51の上に凹部51a、51bを埋めるようにポリシリコン52を堆積する(図15(C1)、(C2))。

【0070】ポリシリコン52を凹部51aに相当する位置において円形に等方性エッチングによって削り取り、滑らかな曲面をもつ凹部52aを形成する(図16(A1)、(A2))。

【0071】ポリシリコン52を覆うように、SiO₂犠牲層53をつくる(図16(B1)、(B2))。SiO₂犠牲層53はSiO₂犠牲層51とポリシリコン52の周側面も覆う。SiO₂犠牲層53の表面には、凹部52aに相当する位置に滑らかな曲面をもつ凹部53aが残る。これから作製される凸レンズは、凹部53aに相当する形状の凸表面をもつものになる。

【0072】SiO₂犠牲層53の上からシリコン基板32の上にわたってポリシリコン支持層54を形成する(図16(C1)、(C2))。このポリシリコン支持層54はポリシリコンのパターニングと堆積により形成され、凹部53aの周囲を囲い一部が欠如した環状部分54Aと、環状部分54Aの両端からのびる脚部分54Bとから構成される。脚部分54Bは基板32上にまでのびている。この基板32上に設けられた部分を54Cで示す。部分54Cは基板32上に絶縁層58を介して設けられている。ポリシリコン支持層54は、これから作製される凸レンズの周囲を支持するとともに、凸レンズの姿勢を保つために用いられる(電流が流されることによって加熱されて硬化する)。基板32上に形成された部分54Cは、電流を流すのに用いられる端子としても用いられる。

【0073】凹部53aを埋めかつポリシリコン支持層54の内側にそってのびるポリイミド55をパターニングと堆

10

20

30

40

50

積により形成する(図17(A1), (A2))。ポリイミド55の先端部はポリシリコン支持層54からさらに外方にのび、基板32上に形成されている。凹部53aを埋めるポリイミド55の部分が、凸レンズ55Aになる。ポリシリコン支持層54の脚部54B上に形成されたポリイミド部分を55Bで、基板32上に形成されたポリイミド部分を55Cで示す。

【0074】凸レンズ55Aの外周と、ポリイミド部分55B、55C上に下層金属膜13、PZT薄膜14および上層金属膜15からなるPZTアクチュエータ17を形成する(図17(B1), (B2))。図4、図5および図8に示す構造と同じように、2つのポリイミド部分55B、55Cの一方の上には下層金属膜13のみが積層される。

【0075】以上の工程の後、2回のエッチングが行われる。最初のエッチングはシリコン基板32の中央部をその下面からSiO₂犠牲層51の下側の位置まで削り取るものである(図17(C1), (C2))。シリコン基板32には凹部32Bが形成される。この凹部32Bは凹部32aと32bを含む方形の部分に形成される。

【0076】1回目のエッチングによって露出したSiO₂犠牲層51、可動電極34およびバー35の下面からさらに2回目のエッチングを行い、SiO₂犠牲層51、ポリシリコン52およびSiO₂犠牲層53を取り除く(図18(A1), (A2))。シリコン基板32には上下方向に通じる穴32Aがあく。凸レンズ55Aがポリシリコン支持層54によって穴32Aの上方に基板32に支持され、かつポリシリコン支持層54上にPZTアクチュエータ17が設けられたマイクロ光学ユニット(マイクロ光学立体構造体)60が完成する。

【0077】図19に示すように、固定電極46が設けられたガラス基板31をシリコン基板32の上に置き、ガラス基板31の支持部37の下面を、シリコン基板32のフレーム部33上に重ね合わせて陽極接合する。

【0078】図20に示すように、固定電極46と可動電極34とに電圧を印加すると、可動電極34の先端部分が固定電極46に引き寄せられ、ポリシリコン支持層54および凸レンズ55Aがシリコン基板32上に起立する。この状態で基板32上のポリシリコンの部分54Cからポリシリコン支持層54に電流を流すと、ポリシリコン支持層54は加熱されて硬化する。凸レンズ55Aはポリシリコン支持層54によりシリコン基板32上に起立した姿勢で固定される。

【0079】応用例

図21は、図14に示すPZTアクチュエータをもつ凸レンズを備えたマイクロ光学ユニットと、受光素子を備えたマイクロ光学ユニットとが同一基板を用いて一体に形成された光学スイッチングユニットの断面図である。図14に示すものと同じものには同一符号を付し、重複説明を避ける。

【0080】光学スイッチングユニット80は基板32を含み、この基板32に2つの穴32A、32Cがあけられてい

る。一方の穴32Aの上方にはポリシリコン支持層54によって支持された凸レンズ55Aが起立した姿勢で設けられている。すなわち、ポリシリコン支持層54は可動電極34Aと固定電極46Aとの間に電圧が印加された状態で電流が流されることにより、起立させられかつその姿勢に固定される。

【0081】一方、穴32Cの上方には可動電極34Bが形成され、この真上に受光素子71が脚部72によって基板32に設けられている。可動電極34Bの上方において、補助構造体31には固定電極46Bが設けられている。受光素子71の起立と伏臥は可動電極34Bと固定電極46Bとの間に印加する電圧によって制御される。

【0082】固定電極46Bと可動電極34Bとの間に電圧を印加すると、可動電極34Bは固定電極46Bに引き寄せられ、受光素子71はシリコン基板32上に起立する。発光素子(図示略)から出射された光は凸レンズ55Aによって集光またはコリメートされ、受光素子71に入射する。このとき光スイッチはオンである。

【0083】固定電極46Bと可動電極34Bとの間への電圧の印加を停止すると、可動電極34Bは元の位置にもどり受光素子71も寝た姿勢に戻る。凸レンズ55Aからの光は受光素子71に入射しない。光スイッチはオフになる。

【0084】図22は光学スイッチングユニットの他の例を示す断面図である。図21に示すものと同じものには同一の符号を付し、重複説明を省略する。

【0085】光学スイッチングユニット90において、補助構造体31はシリコン基板32の下方に配置されている。凸レンズ55Aは可動電極34Aと固定電極46Aとの間への電圧印加およびポリイミド支持層44への通電により、下方に倒立した状態に固定されている。受光素子71は可動電極34Bと固定電極46Bとの間の電圧の印加、停止に応じて、その位置が制御される。

【0086】シリコン基板32の光の通過すべき部分には、穴32Aと外部および穴32Aと穴32Cを連通する光通過孔32D、32Eがあけられている。発光素子(図示略)から出射された光は、光通過孔32Bを通して凸レンズ55Aに入射する。凸レンズ55Aで集光またはコリメートされた光は、光通過孔32Eを通して受光素子71に入射する。光スイッチングは、図21に示す光スイッチングユニット80と同様、受光素子71の姿勢を制御する(可動電極34Bと固定電極46Bとの間に印加する電圧を制御することによって達成される)。

【0087】凸レンズ、発光素子、受光素子に代表される機能素子は、シリコン基板32上に垂直に起立させる、またはシリコン基板32にあけられた穴内に垂直に倒立させるだけでなく、任意の角度を向けた姿勢で固定することができるのはいうまでもない。固定電極と可動電極との間に印加する電圧の大きさ、またはポリシリコンに電流を流すタイミングを調整することによって、機能素子を任意の角度を向いた姿勢で固定することもできる。脚

部（ポリシリコン54、ポリイミド55またはPZTアクチュエータ17）にpiezo抵抗素子を形成しておく、piezo抵抗素子から出力される抵抗値の変化にもとづいて機能素子の起立の角度またはシリコン基板32の穴に格納される角度を検知することができる。piezo抵抗素子の抵抗値の変化にもとづいて、機能素子の姿勢を制御することができる。piezo抵抗素子はバー35上に形成してもよい。バー35のねじれを検出して、機能素子の起立の角度またはシリコン基板32の穴に格納される角度が検知される。

【図面の簡単な説明】

【図1】ポリイミドを用いて作製された光学基板の一部を示す断面図である。

【図2】(A)、(B)、(C)および(D)は図1に示す光学基板を作製する工程を示す断面図である。

【図3】ポリイミドを用いて作製された他の構造の光学基板を示す断面図である。

【図4】(A)はPZTアクチュエータを備えた光学基板の構造を示す平面図、(B)は(A)のIV-IV線にそう断面図である。

【図5】(A)はPZTアクチュエータを備えた凸レンズに支持部を取り付けた構造を示す平面図、(B)は(A)のV-V線にそう断面図である。

【図6】(A1)、(B1)、(C1)および(D1)は、図5に示す凸レンズの作製工程を示す平面図であり、(A2)、(B2)、(C2)および(D2)はそれぞれ(A1)、(B1)、(C1)および(D1)のVIA-VIA線、VIB-VIB線、VIC-VIC線およびVID-VID線にそう断面図である。

【図7】(A1)および(B1)は、図5に示す凸レンズの作製工程を示す平面図であり、(A2)および(B2)はそれぞれ(A1)および(B1)のVIIA-VIIA線およびVIIB-VIIB線にそう断面図である。

【図8】(A)はPZTアクチュエータをもつ凸レンズに支持部を取り付けた構造のものからなるレンズ・アレイの平面図、(B)は(A)のVIII-VIII線にそう断面図である。

【図9】微小立体構造体と、機能素子を起立させる工程に用いられる補助構造体を示す斜視図である。

【図10】図9のX-X線にそう断面図である。

【図11】(A)、(B)および(C)は微小立体構造体における機能素子を起立させる工程を示す断面図である。

【図12】他の構成をもつ微小立体構造体と、機能素子を起立させる工程に用いられる補助構造体を示す斜視図である。

【図13】図12のXIII-XIII線にそう断面図である。

【図14】PZTアクチュエータが形成された凸レンズを含むマイクロ光学ユニットの断面図である。

【図15】(A1)、(B1)および(C1)は、PZTアクチュエータが形成された凸レンズを含むマイクロ光学ユニットの作製工程を示す平面図であり、(A2)、(B2)および(C2)はそれぞれ(A1)、(B1)および(C1)のXVA-XVA線、XVB-XVB線およびXVC-XVC線にそう断面図である。

【図16】(A1)、(B1)、および(C1)は、PZTアクチュエータが形成された凸レンズを含むマイクロ光学ユニットの作製工程を示す平面図であり、(A2)、(B2)および(C2)はそれぞれ(A1)、(B1)および(C1)のXVIA-XVIA線、XVIB-XVIB線およびXVIC-XVIC線にそう断面図である。

【図17】(A1)、(B1)および(C1)は、PZTアクチュエータが形成された凸レンズを含むマイクロ光学ユニットの作製工程を示す平面図であり、(A2)、(B2)および(C2)はそれぞれ(A1)、(B1)および(C1)のXVIIA-XVIIA線、XVIIIB-XVIIIB線およびXVIIC-XVIIC線にそう断面図である。

【図18】(A1)は、PZTアクチュエータが形成された凸レンズを含むマイクロ光学ユニットの作製工程を示す平面図であり、(A2)は(A1)のXVIII-XVIII線にそう断面図である。

【図19】PZTアクチュエータが形成された凸レンズを含むマイクロ光学ユニットの作製工程を示す断面図である。

【図20】PZTアクチュエータが形成された凸レンズを含むマイクロ光学ユニットの作製工程を示す断面図である。

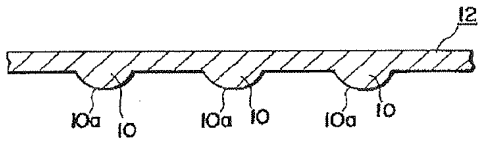
【図21】スイッチング機構を構成するマイクロ光学ユニットの断面図である。

【図22】スイッチング機構を構成するマイクロ光学ユニットの他の例を示す断面図である。

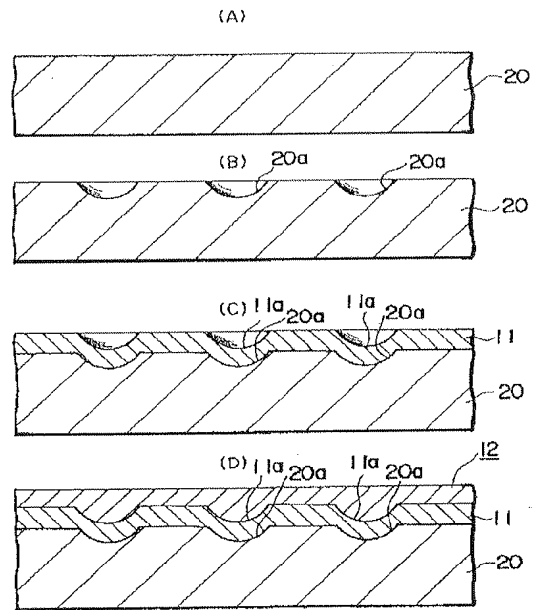
【符号の説明】

- 10, 10A 凸レンズ
- 11, 51, 53 SiO₂ 犠牲層
- 12, 12A 光学基板
- 13 下層金属膜
- 14 PZT薄膜
- 15 上層金属膜
- 30 微小立体構造体
- 31 補助構造体
- 32 シリコン基板
- 33 フレーム部
- 34, 34A 可動電極
- 35 バー
- 41 絶縁膜
- 42 外部接続端子
- 43 脚部
- 46 固定電極

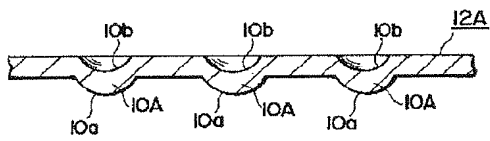
【図1】



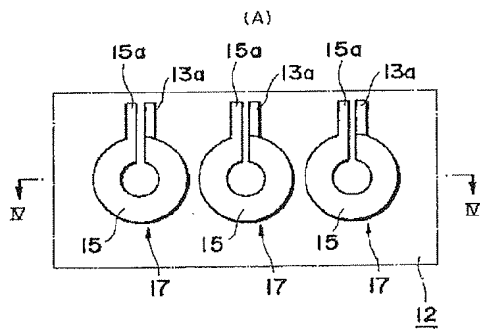
【図2】



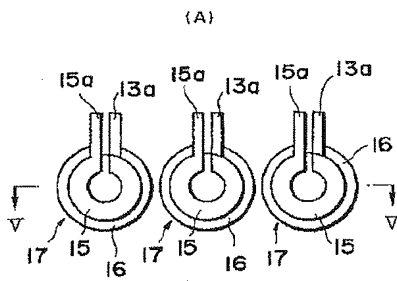
【図3】



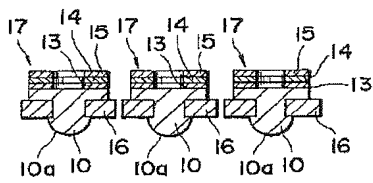
【図4】



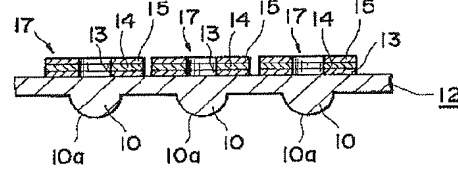
【図5】



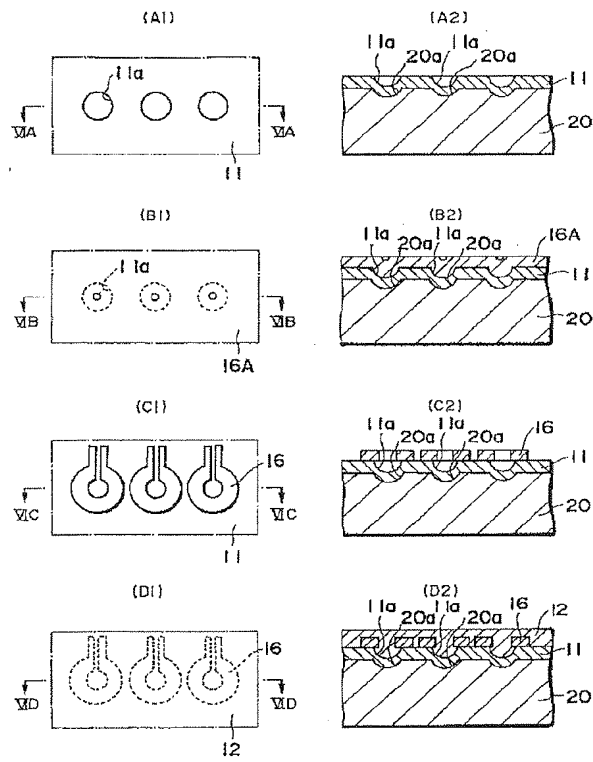
(B)



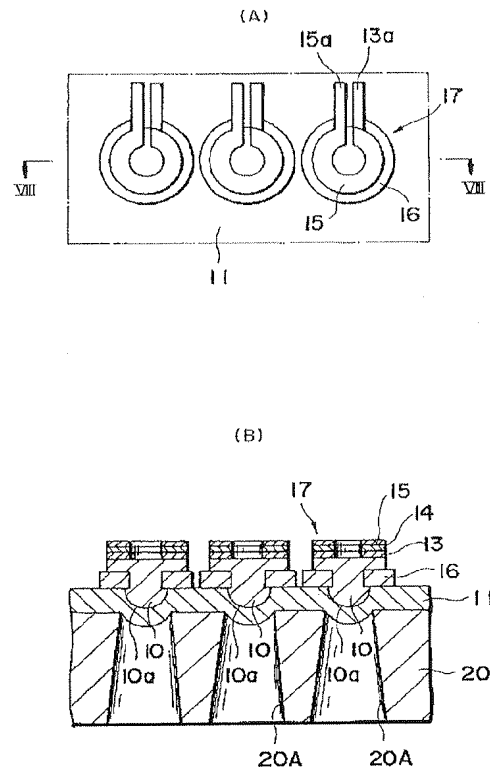
(B)



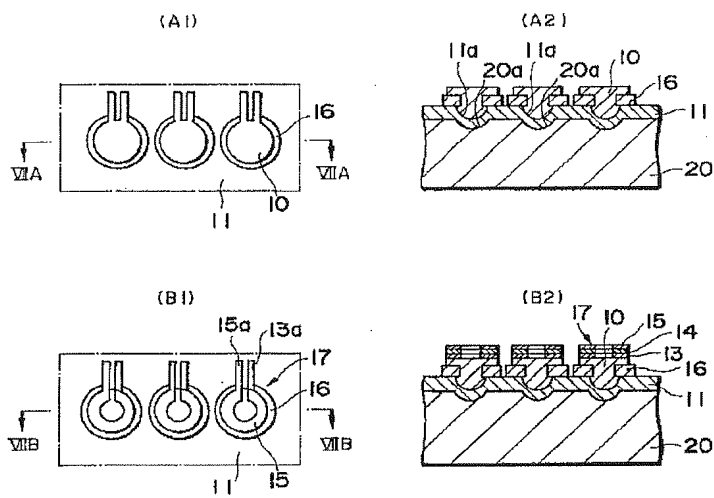
【図 6】



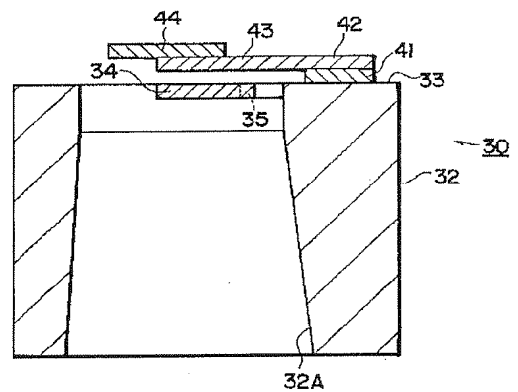
【図 8】



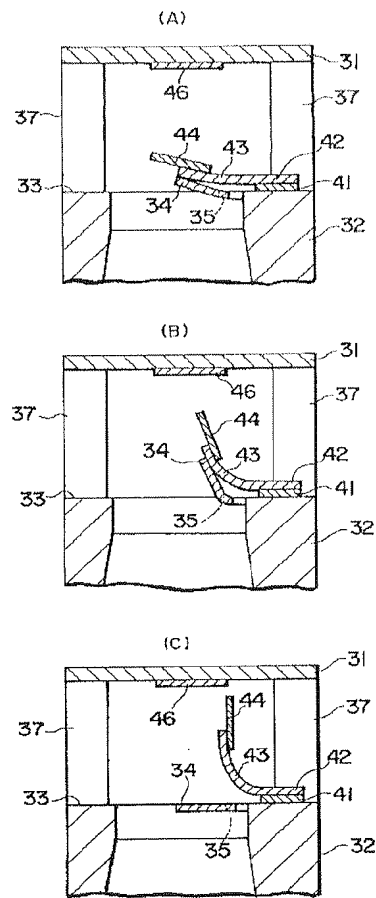
【図 7】



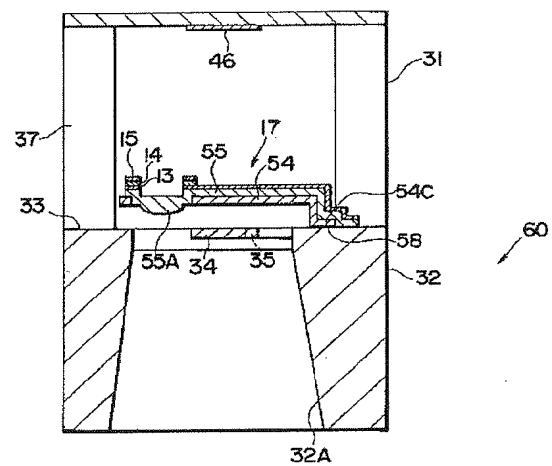
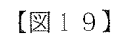
【図 10】



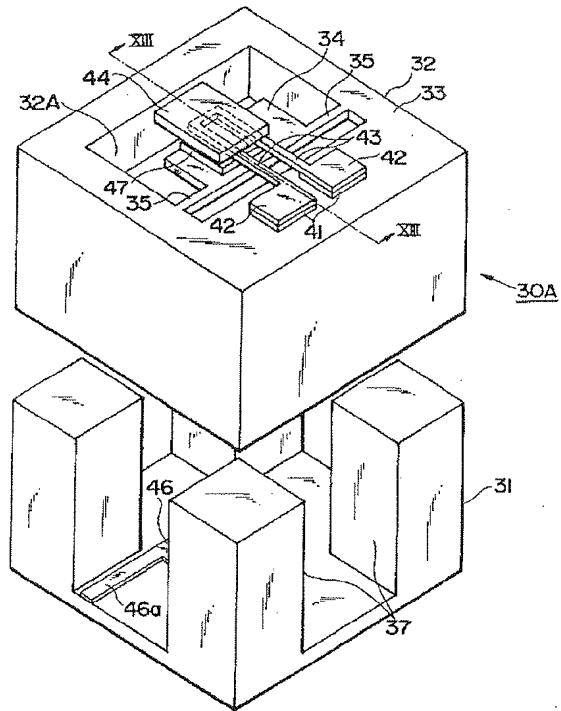
【例 11】



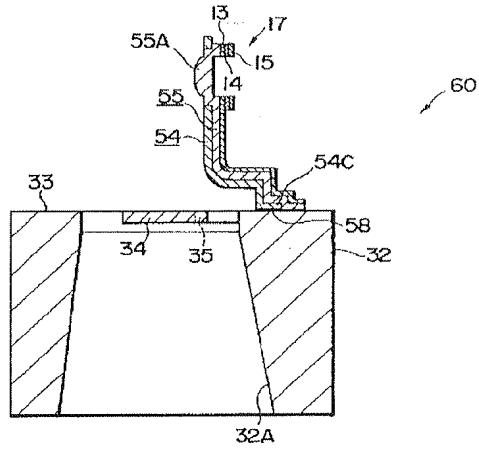
【图 1 3】



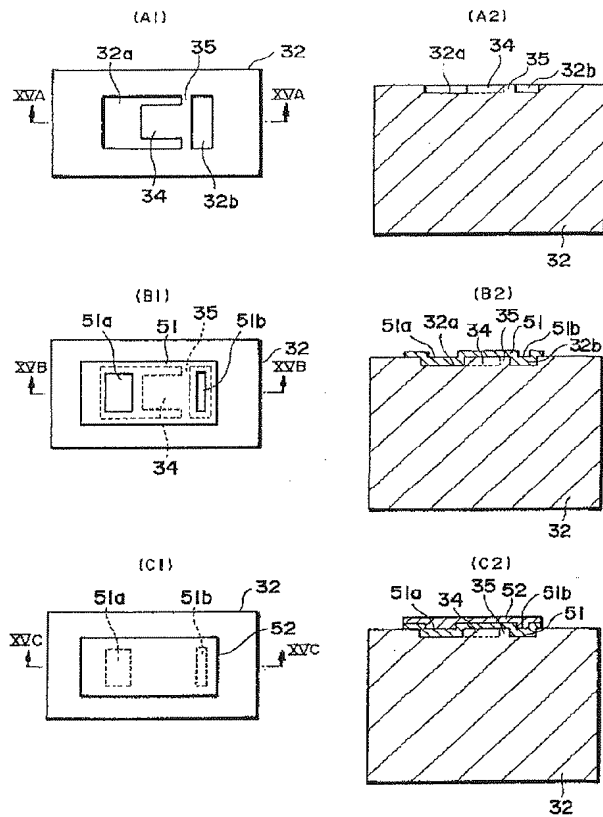
【図12】



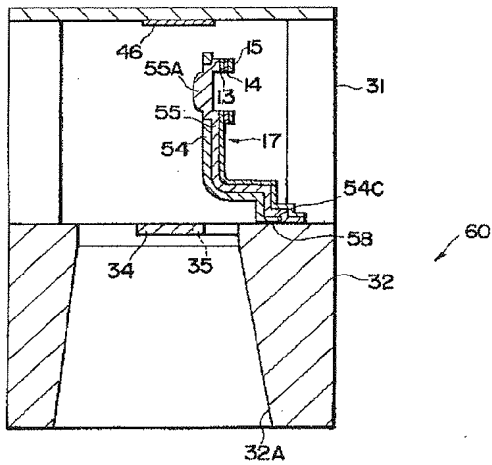
【図14】



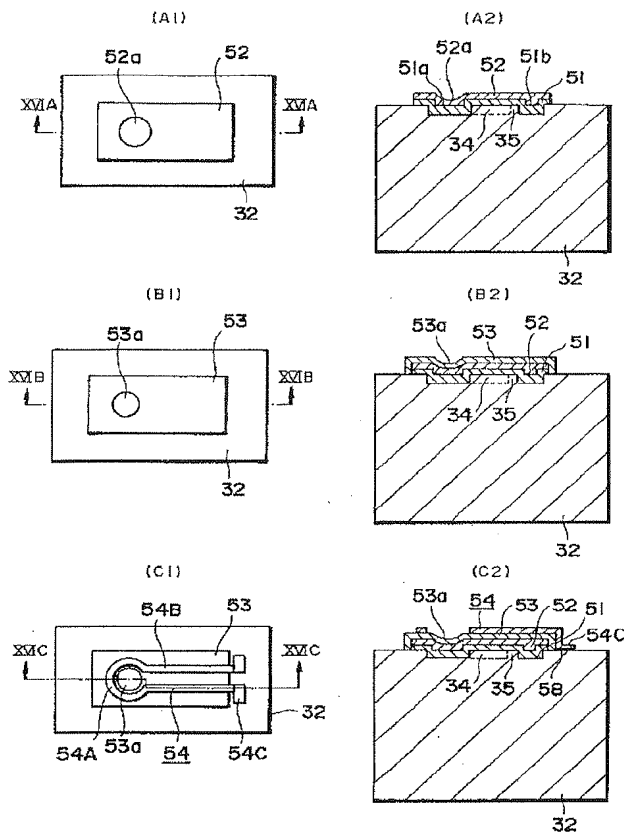
【図15】



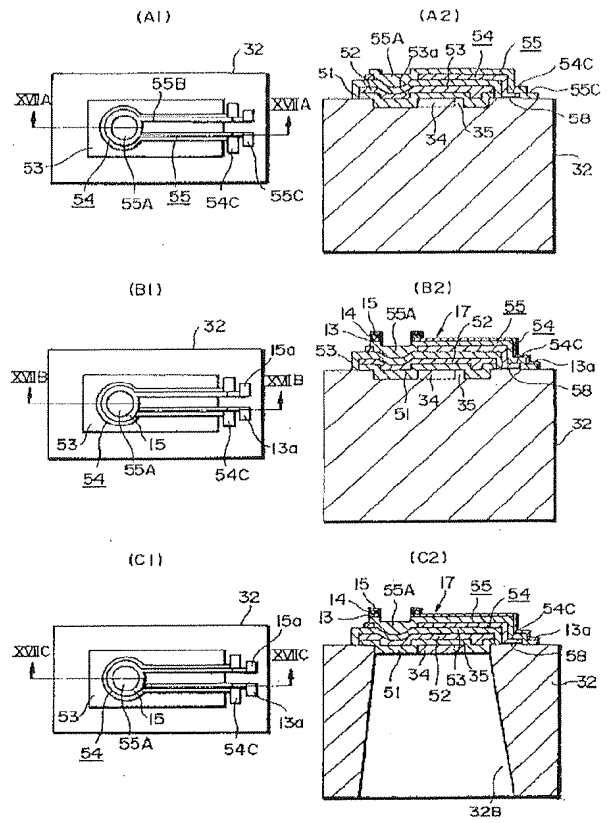
【図20】



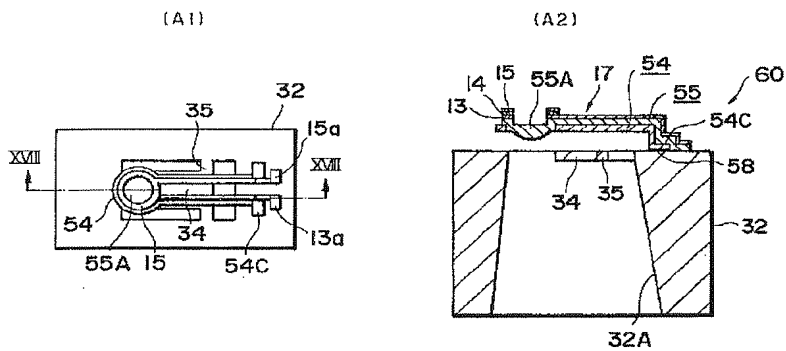
【図16】



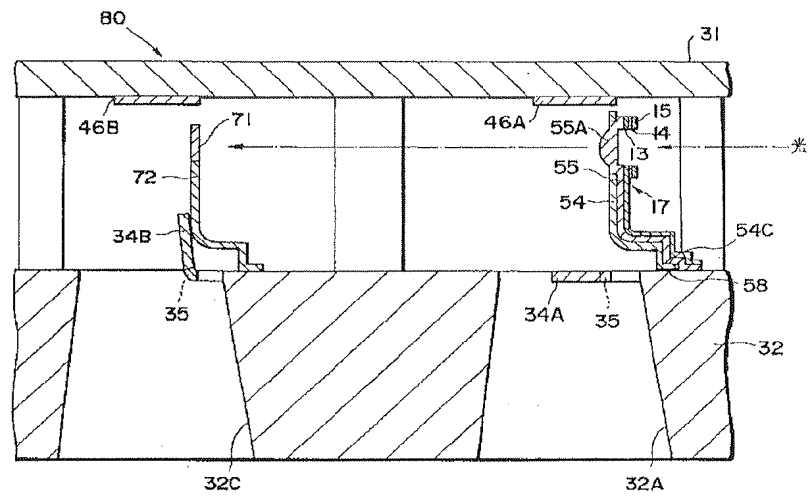
【図17】



【図18】



【図 2 1】



【図 2 2】

